

Quantificação química em perfis de antropossolos por fluorescência de raios X com vistas a identificação de discontinuidades de camadas

Chemical quantification in anthrosols profiles by X ray fluorescence in order to identify layers discontinuity

Rafael Cardoso Teixeira^{ac}, Pablo de Azevedo Rocha^{bf}, André Luiz Lopes de Faria^{cg}, Liovano Marciano da Costa^{dh}, Elton Eduardo Novais Alves^{di}

^aUniversidade Federal de Viçosa, ^bDepartamento de Geografia - Universidade Federal do Espírito Santo, ^cDepartamento de Geografia - Universidade Federal de Viçosa, ^dDepartamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa

^eteixeirarceo@gmail.com, ^fpab_zulu@yahoo.com.br, ^gandre@ufv.br, ^hliovandomc@yahoo.com.br, ⁱeltonena@gmail.com

Resumo

As ações antrópicas têm modificado as superfícies naturais, acarretando alterações na pedosfera. Em função dessas alterações, um novo tipo de material surge pela ação direta do agente antrópico, sendo denominados solos antrópicos ou antropossolos. Neste tipo de solo o homem é considerado o principal fator de formação, diferenciando-se dos solos de formação natural. A presente pesquisa avaliou as características químicas de quatro antropossolos da área costeira e periurbana do município de Guarapari-ES utilizando a avaliação semi-quantitativa de elementos químicos. Essa análise é baseada nos parâmetros fundamentais da técnica de fluorescência de raios X, através do espectrômetro de microfluorescência de raios X por energia dispersiva (μ -EDX 1300). Foram feitas pastilhas de solos (passadas em peneiras de 200 mesh de diâmetro de malha) preparadas com uma solução de polietilenoglicol (PEG 6000 - 100 g/L) para aglutinar as amostras. O equipamento foi calibrado com padrões metálicos e o método de análise foi desenvolvido utilizando amostras de referência de solo e rocha. Foram selecionados quatro Antropossolos para análise: dois Lixicos Áquicos Eutróficos, um Decapítico Parcialmente Alumínico e um Sômico Camádico Eutrófico. Os elementos químicos analisados foram Ca, Mg, Na, K, Fe, S, Al, Si, Ti, P, Mn e Zr. O aspecto em evidência dos antropossolos analisados foi a discontinuidade química que ocorre principalmente pelos seguintes elementos: de CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂, observada junto aos dados estatísticos. A discontinuidade química é mais pronunciada e possui maior variabilidade nos antropossolos camádicos e/ou sômicos analisados, pois são constituídos por camadas compostas por materiais heterogêneos e alóctones ao ambiente.

Palavras-chave: Solos Antrópicos; Ação Antrópica; Descontinuidade Química.

Abstract

The anthropic actions have modified natural areas, causing alterations in the pedosphere. In view of these changes, a new material type arises because of the direct anthropic agent action, being denominated anthropic soils or Anthrosols. In this soil type, man is considered the main formation factor, being different from the naturally constructed soils. The present study evaluated the chemical characteristics of four anthrosols located in the coastal and peri urban area of the Guarapari-ES city using the chemical elements semi-quantitative evaluation. This analysis is based on the X-ray fluorescence technique fundamental parameters using the X-ray microfluorescence spectrometer by dispersive energy (μ -EDX 1300). Soil pellets (passed through 200 mesh sieves) were made with a polyethylene glycol solution (PEG 6000 – 100 g/L) to agglutinate the samples. The equipment was calibrated with metallic standard and the analysis method was developed using soil and rock reference samples. Four Anthrosols were selected for analysis: two Eutrophic Aquatic Leached, one Aluminic Partially Beheaded and one Eutrophic Layered Assembled. The chemical elements analyzed were Ca, Mg, Na, K, Fe, S, Al, Si, Ti, P, Mn and Zr. The main evidence showed by the anthrosols was the chemical discontinuity that occurs mainly by the following elements: CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃ and SiO₂, observed together with the statistical data. The chemical discontinuity is more pronounced and has greater variability in the layered and/or assembled anthrosols analyzed, the layers are composed by heterogeneous allochthonous materials.

Key words: Anthropic Soils; Anthropogenic Action; Chemical Discontinuity.

Introdução

O município de Guarapari, localiza-se na porção sul do Estado do Espírito Santo-Brasil, com população estimada em 121.506 habitantes (IBGE 2017) e uma área de crescimento urbano total entre os anos de 1991 a 2014 de aproximadamente 3,744 km² (Barreto Neto *et al.* 2011), sendo o contexto propício à formação de Antropossolos. No meio urbanizado é onde há maior possibilidade de construção de uma diversidade de ambientes antropizados, como Pellogia (1998) e Curcio *et al.* (2004) evidenciam na dinâmica sócio natural dos “ambientes tecnogênicos” (Ter-Stepanian 1989).

A ação antrópica nos solos se faz quando o Homem passa a ser um agente pedogenético a partir da alteração das características químicas, físicas e morfológicas dos solos presentes em ambientes alterados e em interação com a paisagem (Jenny 1941). Dagnino (2005) destaca que os cinco fatores de formação de solos (clima, organismos, relevo, material de origem e tempo) integram a base da “visão clássica” de formação dos solos naturais.

Os solos antrópicos, na perspectiva de uma “visão crítica” (Dagnino 2005), compreendem os Antropossolos, que segundo Kämpf e Kern (2005) são formados de acordo com a expressão $S = f(a)_{c,o,r,m,t}$. Onde a pedogênese (S) é derivada da interação dos fatores naturais de formação dos solos (clima, organismos, relevo, material de origem e tempo) para com a atividade antrópica (a) que gera a inserção de elementos orgânicos e inorgânicos alóctones ao ambiente, como artefatos,

restos de alimentação e cadáveres. O que torna o Homem o principal fator de formação desses solos.

A classificação publicada por Curcio *et al.* (2004), voltada à definição, caracterização e classificação de Antropossolos, apresenta uma definição mais congruente de Antropossolo, que compreende um volume formado por uma ou diversas camadas antrópicas com mais de 40 cm de espessura, constituído por materiais orgânicos e/ou inorgânicos derivados exclusivamente das ações antrópicas. Estas referentes ações antrópicas que alteram os elementos constituintes do ambiente, incluindo o solo são denominadas pelo termo de antropogênese (Curcio *et al.* 2004).

A partir da classificação supracitada, objetivou-se classificar quatro antropossolos e realizar a análise química por fluorescência de raios X dos Antropossolos em questão. Para a análise química por fluorescência de raios X foi utilizado o espectrômetro de microfluorescência de raios X por energia dispersiva (μ -EDX 1300, Shimadzu, Kyoto, Japão) para a determinação dos valores semi-quantitativos dos elementos químicos analisados, avaliando as diferenças “induzidas” por ação humana (Gomes *et al.* 2012).

Os teores dos elementos químicos determinados pelo μ -EDX nas amostras de solo foram expressos na forma de seus respectivos óxidos, os quais são: Óxidos de Cálcio (CaO), Magnésio (MgO), Sódio (Na₂O), Potássio (K₂O), Ferro (Fe₂O₃), Enxofre (SO₃), Alumínio (Al₂O₃), Silício (SiO₂), Titânio (TiO₂), Fósforo (P₂O₅), Manganês (MnO) e Zircônio (ZrO₂).

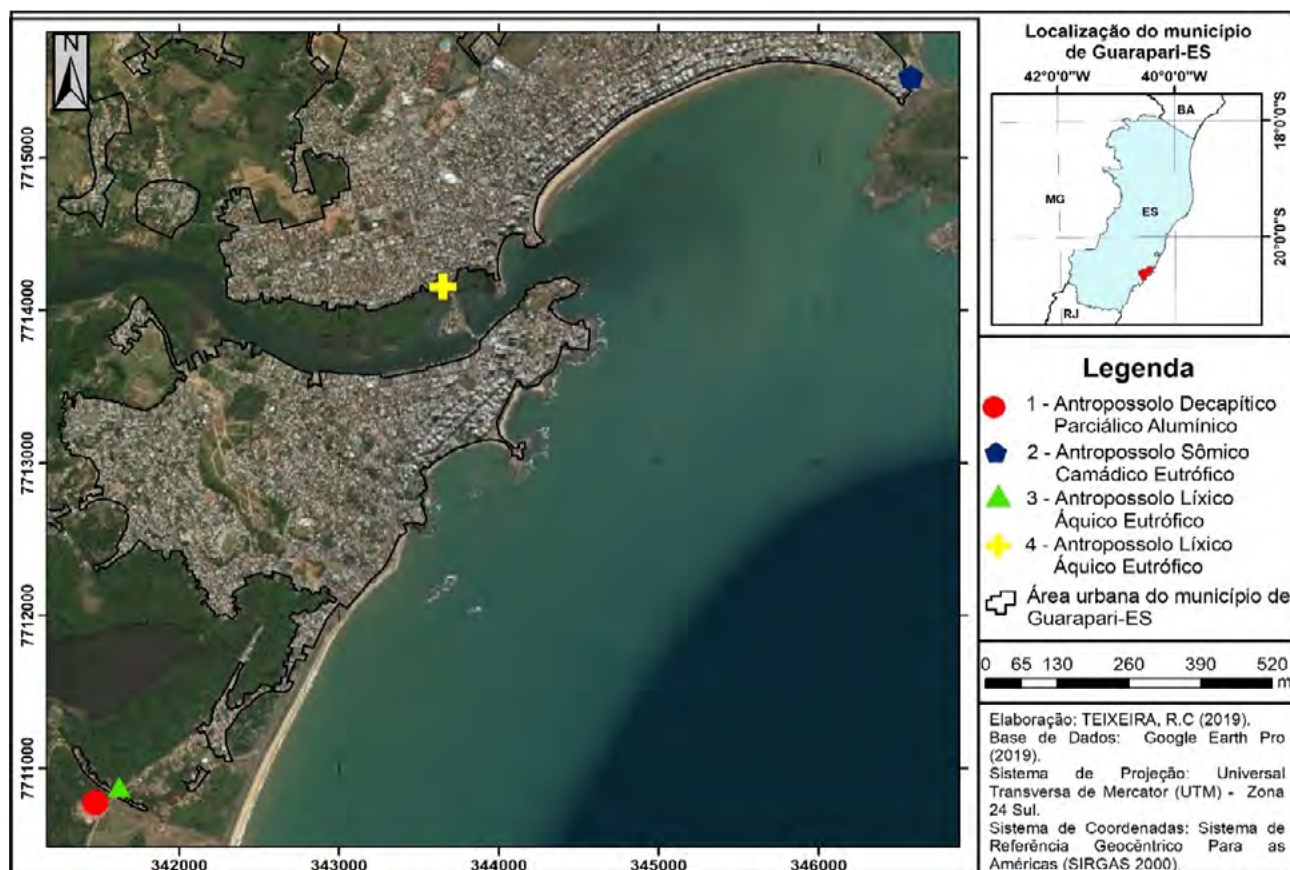


Figura 1: Localização dos quatro antropossolos na área urbana do município de Guarapari-ES

Material e Métodos

Foram analisados quatro perfis de Antropossolos coletados na planície costeira do município de Guarapari-ES (Figura 1), seguindo as recomendações de coleta de Santos *et al.* (2015). A sequência de procedimentos para análise por fluorescência de raios X seguiu a proposta elaborada por Alves *et al.* (2015b).

As amostras das camadas dos Antropossolos foram destorroadas, secadas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para a separação da terra fina seca ao ar (TFSA). Após a realização de uma segunda secagem, em temperatura de 105 ± 2 °C por 48 horas, foram pesados 3g de subamostras de TFSA de cada camada para a realização da trituração e peneiramento em abertura de malha de 200 mesh.

A partir do material triturado e passado em peneira de 200 mesh foram confeccionadas pastilhas de 2 mm de espessura para cada camada. Este processo foi realizado em um pastilhador de aço inox com área útil de 1,755 cm² e diâmetro de 14,95 mm inserido sobre prensa hidráulica (4 t cm⁻² por 2 min). Em amostras de textura arenosa foi necessário o acréscimo de uma solução de polietilenoglicol (PEG 6000 - 100 g/L), pois em amostras com este caráter textural é necessário o acréscimo desta solução para que ocorra a aglutinação da pastilha.

Posteriormente, para cada amostra foi realizada a leitura no equipamento espectrômetro de microfluorescência de raios X por energia dispersiva (μ -EDX 1300), tendo um período de tempo de 1,1 h por amostra, onde o modo mapeamento analisou 40 pontos por amostra, com passo de 100 μ m entre cada ponto e 100 s de medida por ponto, como proposto por Alves *et al.* (2015b).

Por este equipamento os teores totais dos elementos químicos foram determinados através do método semi-quantitativo “Fundamental Parameters” (método FP) para avaliar a constituição química dos Antropossolos, seguindo a metodologia proposta por Alves *et al.* (2015b). O aparelho μ -EDX 1300 foi previamente calibrado com a utilização de padrões metálicos e o método foi desenvolvido utilizando amostras de referência de solos e rochas para a análise semi-quantitativa FP, possibilitando o ajuste dos coeficientes de sensibilidade do equipamento para cada elemento químico.

Foram realizados os cálculos estatísticos de média (\bar{x}), de desvio padrão (S) que é à medida que determina a dispersão de valores em relação à média e o coeficiente de variação (CV), para determinar o quanto de variabilidade (Rogerson 2012) da composição química existe entre as camadas de cada perfil dos Antropossolos estudados.

Resultados e Discussão

Os dados obtidos pela microfluorescência estão apresentados nas tabelas 01, 02, 03 e 04, referentes a cada Antropossolo e suas camadas.

I) Antropossolo Decapítico Parcialico Alumínico

O Antropossolo Decapítico Parcialico Alumínico (Antropossolo 1 – coordenadas 20°41'45.04"S e 40°31'19.02"W), apresentou horizonte A decapitado, tendo como horizonte diagnóstico um B latossólico relativamente bem preservado. Essa área apresenta solos com tais características pois foi utilizada para a construção de uma pista de motocross, resultando na decapitação do horizonte A e exposição de seus horizontes mais profundos através de barrancos.

Os valores encontrados na Tabela 01 são reflexos de características químicas comuns em Latossolos, com teores elevados de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. Ao passo que apresenta baixos teores de cátions básicos (como Ca, Mg e K, por exemplo), típicos de ambientes com elevado grau de intemperismo, com direcionamento geoquímico apontando para o processo de monossilificação, isto é, com perdas parciais de Si. O Latossolo em questão é coeso, caulínico, distrófico, derivado de material pré-intemperizado da sedimentação Barreiras, onde houve a lixiviação de cátions básicos, resultando em uma concentração relativa de elementos como Si, Al e Fe.

Destaca-se também que entre os quatro Antropossolos estudados, foi somente este o que não possuía adição de qualquer tipo de material de origem antrópica, tais como solos alóctones, resíduos orgânicos ou inorgânicos.

O Antropossolo 1 apresentou maior uniformidade entre os dados químicos, com exceção somente para os elementos Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂. Para o Fe₂O₃ entre os horizontes 1.3 e 1.4 ocorre a maior diferença, sendo o horizonte 1.4 representativo do horizonte C, portanto, apresenta maior quantidade de Fe₂O₃. Sendo, neste caso, também o valor de s calculado, 26,851, representativo para as variações detectadas. Enquanto que o Al₂O₃ cresce em direção ao horizonte C e o SiO₂ possui diferença pronunciada entre os horizontes 1.3 e 1.4, limite entre os horizontes B e C do Latossolo antropizado.

O P₂O₅ destaca-se quanto aos seus resultados devido ao valor de 0,00 mg kg⁻¹ no horizonte 1.1, discrepante aos horizontes mais profundos que apresentam valores não nulos. Dessa forma, esse valor nulo influencia no maior valor de CV (1,03) calculado entre os dados deste Antropossolo. O valor calculado de s para P₂O₅ se apresenta elevado (288,45), também em razão de seus valores estarem apresentados em mg kg⁻¹. Enquanto que os demais óxidos apresentaram maior uniformidade dos valores de s calculados.

O Antropossolo 1 demonstra dados químicos característicos de um solo natural nos seus horizontes subsuperficiais, B e C de um Latossolo antecessor, que atualmente encontram-se mais expostos às intempéries químicas devido a exposição desses horizontes feitos por cortes de barrancos, que também modificaram as características topográficas do local. Tal aspecto influencia diretamente na dinâmica da água nesse local e consequentemente no solo.

Tabela 01: Teores dos elementos químicos expressos em óxidos (g kg⁻¹ e mg kg⁻¹) do Antropossolo Decapítico Parcialmente Aluminoso (Antropossolo 1).

Elementos		CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
Camadas	Pf (cm)	g kg ⁻¹					
1.1	00-45	0,145	13,559	16,646	0,429	62,071	0,716
1.2	45-90	0,259	13,652	18,116	0,625	64,557	0,778
1.3	90-140	0,171	10,634	15,992	0,824	53,818	0,777
1.4	140+	0,238	15,715	17,299	1,381	121,475	1,254
\bar{x}		0,203	13,390	17,013	0,814	75,480	0,881
s*		0,046	1,809	0,786	0,355	26,851	0,216
CV*		0,230	0,135	0,046	0,436	0,356	0,246
Elementos		Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂
Camadas	Pf (cm)	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
1.1	00-45	231,162	570,441	14,200	0,00	12,43	686,70
1.2	45-90	244,009	623,068	16,600	206,49	19,86	879,93
1.3	90-140	246,827	591,985	15,700	762,87	36,28	694,11
1.4	140+	287,629	487,205	20,300	154,05	44,31	805,68
\bar{x}		252,406	568,174	16,700	280,85	28,22	766,60
s		21,175	50,352	2,248	288,45	12,68	80,64
CV		0,084	0,089	0,135	1,03	0,45	0,10

* \bar{x} é média, s é desvio padrão e CV é coeficiente de variação.

Neste Antropossolo se observa que pelo tempo curto em que ocorreu a decapitação, ainda não houve um período de tempo e nem ações ou processos necessários para que os horizontes do Antropossolo se diferenciasssem quimicamente dos horizontes B e C do Latossolo que lhe deram origem. Portanto, a análise dos dados químicos indica que a pedogênese, neste caso, encontra-se em grau evoluído.

Assim, com a definição de [Curcio et al. \(2004\)](#), este Antropossolo possui duas características bem definidas de antropogênese: a ação antrópica de remoção do horizonte A do solo e as fortes modificações na paisagem, realizadas pelo homem.

II) Antropossolo Sômico Camádico Eutrófico

O Antropossolo Sômico Camádico Eutrófico (Antropossolo 2 – coordenadas 20°39'11.12"S e 40°28'21.74"W) passou por uma sequência de modificações antrópicas. Sendo o ambiente formado naturalmente por material arenoso (Neossolo Quartzarênico) e posteriormente coberto, antropicamente, por material argiloso alóctone ao ambiente.

Dessa forma, este Antropossolo possui dois momentos distintos e correlacionados de formação. O primeiro momento é um processo natural de desenvolvimento do perfil, com a formação do horizonte A. No momento seguinte houve a adição de material alóctone, enterrando o horizonte A primário. O material sobrejacente ao horizonte A primário passou por um processo subsequente de instalação natural de

vegetação, o que possibilitou a formação de um novo horizonte A (antrópico). Estes dois momentos são destacados na variabilidade de alguns elementos, junto aos seus dados estatísticos, evidenciados na Tabela 02.

O material que foi utilizado para aterrar a área e consequentemente o solo pré-existente, ocupa os primeiros 36 cm desse solo. A diferenciação do material utilizado no aterro e o solo natural fica muito claro nas análises químicas de microfluorescência de raios X. Por se tratar de uma área com forte influência marinha, foram encontrados fragmentos de concha na abaixo de 36 cm, os teores desse material aumentam em profundidade, refletindo nos valores de CaO encontrados abaixo de 36 cm, que são consideravelmente maiores que os da camada sobrejacente.

Os valores de SiO₂ no horizonte 2.7 são os mais baixos de todo o perfil devido à grande quantidade de conchas, sendo importante destacar que também se trata de material arenoso. Os teores de SiO₂ são bem uniformes ao longo do perfil, aspecto que confirma uma granulometria predominantemente arenosa, principalmente nas camadas abaixo de 36 cm (horizonte 2.3 ao horizonte 2.7).

Esse fato da diferença granulométrica entre as duas camadas (00-11 e 11-36 cm) e os demais horizontes (2.3 a 2.7) é reforçado pelos maiores teores de Fe₂O₃ e Al₂O₃. Essas duas camadas superficiais são derivadas de um material com maior predomínio de argila, proveniente de um de Latossolo alóctone à área, provavelmente derivado da formação Barreiras, muito utilizado na região para a construção de aterros e construção de estradas.

Tabela 02: Teores dos elementos químicos expressos em óxidos (g kg⁻¹ e mg kg⁻¹) do Antropossolo Sômico Camádico Eutrófico (Antropossolo 2).

Elementos		CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
Camadas	Pf (cm)	g kg ⁻¹					
2.1	00-11	21,933	13,869	14,700	1,135	53,592	0,827
2.2	11-36	06,053	15,232	24,126	0,516	74,852	0,560
2.3	36-47	40,162	11,196	15,696	2,489	17,223	1,173
2.4	47-86	99,396	11,396	17,693	3,106	14,752	1,486
2.5	86-115	62,834	10,465	18,437	2,526	8,302	0,878
2.6	115-191	106,218	15,796	28,985	2,932	14,580	2,093
2.7	191-204	316,919	16,605	23,091	3,719	15,229	5,620
\bar{x}		93,359	13,508	20,389	2,346	28,361	1,805
s		97,589	2,289	4,790	1,047	23,519	1,626
CV		1,045	0,170	0,235	0,446	0,829	0,901
Elementos		Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂
Camadas	Pf (cm)	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
2.1	00-11	162,760	710,364	12,924	2426,92	177,19	1733,91
2.2	11-36	220,052	639,768	13,845	0,00	48,71	1049,97
2.3	36-47	33,587	851,663	16,485	2865,85	365,46	4238,45
2.4	47-86	32,025	794,181	12,368	6037,36	306,47	3389,89
2.5	86-115	26,510	853,637	6,428	5242,35	359,24	1372,75
2.6	115-191	26,625	772,706	14,796	7205,92	362,75	4502,16
2.7	191-204	16,620	406,868	5,897	15409,84	323,32	1360,33
\bar{x}		74,025	718,455	11,820	5598,32	277,59	2521,06
s		75,967	145,425	3,787	4598,68	111,50	1366,89
CV		1,026	0,202	0,320	0,82	0,40	0,54

Os teores de enxofre reforçam a não filiação da camada de 36 cm a camada subjacente, com maior filiação marinha, devido a assinatura química do sulfato advindo do mar, que está impressa neste material, detectado pelos teores de SO₃.

Neste perfil, através da descrição morfológica e análise química por fluorescência de raios X, definiu-se que o processo de antropogênese é destacada pelos seguintes aspectos principais: presença de horizonte A enterrado, adição antrópica de material alóctone ao ambiente e camadas com composição química bem diferenciada, logo, não existindo filiação entre as camadas superficiais com as subjacentes, criando uma descontinuidade química no perfil de solo.

III) Antropossolo Lítico Áquico Eutrófico

O Antropossolo Lítico Áquico Eutrófico (Antropossolo 3 – coordenadas 20°41'41.69"S e 40°31'14.42"W), localizado em um antigo lixão aterrado, caracterizado por deposição de diversos tipos de materiais de origem antrópica: mineral (solo alóctone ao ambiente), orgânico (ossos, restos de

vegetação e animais) e materiais artificiais (vidro, concreto, porcelana e plástico).

A área destaca-se também pelo aterro/lixão estar sobreposto a um ambiente de manguezal, transformado para fins de loteamento, alterando drasticamente a dinâmica natural da área. Os dados dos elementos e estatísticos deste Antropossolo estão apresentados na Tabela 03.

Entre os valores de elementos para o Antropossolo 3, assim como os dois Antropossolos anteriores (1 e 2), destacam-se os elementos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. Esses elementos não sofrem grande variação nas camadas desse solo devido ao tipo de material alóctone acrescentado à área, um material saprolitizado da Sedimentação Barreiras, logo rico em relação aos elementos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. O solo de manguezal logo abaixo ao aterro possui altos teores dos elementos supracitados devido aos solos de manguezal estarem em um ambiente de sedimentação onde são aportados materiais advindos dos solos derivados da Formação Barreiras e do Embasamento Cristalino, como observado na área em questão por Rocha (2016).

Tabela 03: Teores dos elementos químicos expressos em óxidos (g kg⁻¹ e mg kg⁻¹) do Antropossolo Lítico Áquico Eutrófico (Antropossolo 3).

Elementos		CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
Camadas	Pf (cm)	g kg ⁻¹					
3.1	00-15	2,770	16,296	22,590	13,480	47,458	1,471
3.2	15-80	1,634	14,056	19,323	13,250	58,287	1,654
3.3	80+	4,521	9,085	15,829	11,360	52,636	8,060
\bar{x}		2,975	13,146	19,247	12,697	52,793	3,728
s		1,187	3,013	2,761	0,949	4,223	3,063
CV		0,399	0,229	0,143	0,075	0,084	0,822
Elementos		Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂
Camadas	Pf (cm)	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
3.1	00-15	208,164	682,155	10,210	88,36	64,83	784,71
3.2	15-80	198,831	676,604	13,516	1128,85	53,08	713,51
3.3	80+	165,187	692,475	10,965	546,80	68,94	699,83
\bar{x}		190,727	683,745	11,564	588,00	62,28	732,68
s		18,457	6,576	1,414	425,78	6,72	37,21
CV		0,097	0,009	0,122	0,72	0,11	0,05

Neste Antropossolo esses elementos químicos possuem destaque devido a serem essenciais na composição de manguezais (Barbosa *et al.* 2015), pois é o ambiente de localização e formação deste Antropossolo.

Em relação ao Na₂O, esse elemento apresentou valores elevados nas camadas devido a este ponto estar conectado a solos de manguezal, logo recebendo influência direta da maré e ao que Ibraimo *et al.* (2004) definiu como “spray salino”, que é característico do ambiente em contato ou que esteja próximo à água do mar, assim como os Antropossolos 2 e 4, que possuem influência de salinidade derivado desse processo.

Este perfil é o de mais difícil análise entre os quatro Antropossolos estudados, devido ao somatório de duas características apontadas na descrição morfológica e nos dados químicos. A primeira é que o material alóctone acrescentado a área, caracterizado por ser um material saprolitizado, é também rico em referência aos elementos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. A segunda característica é que ocorreu neste perfil a mistura do material alóctone junto ao solo do manguezal, ambos possuindo teores elevados dos elementos anteriormente mencionados.

Assim, o caráter químico mais relevante deste Antropossolo, que pode separar o material alóctone saprolitizado do solo do manguezal, é o valor do elemento SO₃. Pois este se encontra normalmente com teores estatisticamente superiores nos materiais onde há o predomínio de solo do manguezal, devido a estes serem naturalmente mais ricos em SO₃ devido ao sulfato adicionado pela água da maré.

O P₂O₅ apresentou uma mudança abrupta entre as camadas 3.1, 3.2 e 3.3. Sendo a camada 3.2 a que indica a maior quantidade de material de solo do

manguezal do que o material acrescentado e misturado ao ambiente. Destaca-se para o elemento P₂O₅ os altos valores de s (425,78) e CV (0,72), ambos derivados da mudança abrupta que ocorre para este elemento nestas camadas. Como esse solo deriva de um aterro muito heterogêneo, devido a mistura com o material do lixão, a camada 3.2 provavelmente apresentou algum material antrópico mais rico em fósforo não presente nas outras camadas.

Os demais elementos apresentaram valores com relativamente baixo grau de mudança abrupta, possuindo pouco aspecto peculiar ou diferenciado entre as camadas. Onde os valores de s e CV se apresentaram relativamente baixos em comparação aos outros Antropossolos estudados. Isso ocorre devido a este perfil não possuir mudança abrupta para a grande maioria dos elementos químicos, em função da pequena diferenciação química e morfológica entre suas camadas.

Assim, as discontinuidades químicas mais pronunciadas foram detectadas pelos teores de P₂O₅ e SO₃. Seguindo as condições de antropogênese, as evidenciadas neste perfil são: a presença de materiais antrópicos, aterrando o solo de manguezal com uma mistura de lixo e material saprolitizado, além da presença de descontinuidade da composição química muito pronunciada para determinados elementos, logo mostrando filiações diferentes dos materiais que compõem esse solo.

IV) Antropossolo Lítico Áquico Eutrófico

O Antropossolo Lítico Áquico Eutrófico (Antropossolo 4 – coordenadas 20°39'55.57"S e 40°30'3.41"W) caracteriza-se como sendo proveniente

de depósitos de solo e de diversos outros artefatos antrópicos sobrepostos a um manguezal. Neste caso, este Antropossolo foi gerado por adição de diversos materiais alóctones, os quais foram observados no momento da descrição morfológica, como: solos, restos de construção (tijolos, porcelana, azulejos), plásticos, restos vegetais e tecidos.

Este Antropossolo está formado sobre um ambiente de manguezal, onde há mistura de materiais alóctones depositados sobre solos de manguezal. Assim, como destacado por Barbosa *et al.* (2015) os valores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 são os mais representativos, como no Antropossolo 3, sendo as suas médias as seguintes: 744,189 g kg^{-1} (SiO_2), 51,242 g kg^{-1} (Al_2O_3) e 15,363 g kg^{-1} (Fe_2O_3).

Neste Antropossolo foram observadas mudanças abruptas entre as camadas 4.2 e 4.3. No caso do elemento Na_2O , ocorreu aumento em profundidade, algo esperado pela influência da água marinha e variação da maré, mas também ocorreu uma mudança abrupta entre as camadas 4.1 (4,599 g kg^{-1}) e 4.2 (11,982 g kg^{-1}), onde destaca-se que o nível máximo da maré normalmente não ultrapassa a camada 4.2 e possui, portanto, maior influência sobre a camada 4.3 (2,3747%).

Nos dados do elemento Fe_2O_3 ocorre o decréscimo da camada superficial em direção a camada mais profunda, em razão da zona de saturação por água cada vez maior nas camadas mais profundas reduzindo o Fe^{3+} a Fe^{2+} , este mais móvel. Como este ponto de coleta está topograficamente um pouco mais elevado que a linha de praia, somada a textura mais arenosa desse ponto e a frente de enchimento, se

cria a condição ideal para que o Fe seja lixiviado com mais facilidade.

Para o elemento SO_3 , este possui uma mudança abrupta entre as camadas 4.2 (5,803 g kg^{-1}) e 4.3 (38,500 g kg^{-1}), tendo o maior CV (0,910) e s (15,323) entre os elementos representados em g kg^{-1} neste perfil. Esse maior valor de SO_3 na camada 4.3 é devido a esta camada ser formada basicamente por solo de manguezal, que se encontra agora enterrado. O SO_3 é um elemento característicos de solos de manguezais, influenciados pelo aporte de sulfato derivado da água do mar (Rocha 2016).

Na camada 4.3 se observa diversos elementos com maiores teores neste, sendo o SO_3 , já destacado, e os elementos CaO , MgO , Na_2O , SiO_2 e ZrO_2 bem representativos. Enquanto para os demais elementos (Fe_2O_3 , já destacado, K_2O , TiO_2 , P_2O_5 e MnO) os teores nessa camada se apresentam como os menores de todo o perfil.

Pelo tipo de formação parecido com o Antropossolo 3, o Antropossolo 4 não teve uma mistura tão pronunciada. Observando-se dessa forma, uma mistura de materiais alóctones e solo do manguezal mais efetiva somente entre as camadas 4.1 e 4.2, enquanto que a camada 4.3 possui valores completamente diversos às camadas sobrepostas, pois é formado basicamente por solo do manguezal.

Assim, as condições antrópicas destacadas para indicar a antropogênese neste Antropossolo são: a presença de materiais antrópicos, a composição química modificada e uma parcial inversão ou mistura de horizontes, assim como o aterramento do solo de manguezal

Tabela 04: Teores dos elementos químicos expressos em óxidos (g kg^{-1} e mg kg^{-1}) do Antropossolo Lítico Áquico Eutrófico (Antropossolo 4).

Elementos		CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
Camadas	Pf (cm)	g kg^{-1}					
4.1	00-10	4,839	8,893	4,599	3,963	19,401	6,191
4.2	10-40	2,137	6,921	11,982	2,528	15,941	5,803
4.3	40-80	7,351	15,367	23,747	0,604	10,748	38,500
\bar{x}		4,775	10,394	13,443	2,365	15,363	16,831
s		2,129	3,608	7,885	0,136	3,556	15,323
CV		0,446	0,347	0,586	0,582	0,231	0,910
Elementos		Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂
Camadas	Pf (cm)	mg kg^{-1}					
4.1	00-10	62,779	693,275	4,777	413,10	86,51	447,31
4.2	10-40	51,703	724,404	3,104	870,63	147,39	257,63
4.3	40-80	39,245	814,889	2,142	78,89	115,17	362,22
\bar{x}		51,242	744,189	3,341	454,21	116,35	355,72
s		9,613	51,582	1,089	324,53	24,87	77,57
CV		0,187	0,069	0,326	0,71	0,21	0,22

Conclusões

A análise realizada pelo espectrômetro de microfluorescência de raios X por energia dispersiva foi satisfatória em razão de confirmar as observações apontadas no momento da coleta e descrição morfológicas dos perfis. Além de acrescentar informações como o menor ou maior grau da descontinuidade química e, portanto, o grau de variabilidade entre as camadas, principalmente para os Antropossolos formados por adição de materiais antrópicos.

Conclui-se que em Antropossolos onde não ocorre a adição de material alóctone, não há possibilidade da existência de grau elevado de descontinuidade química, como no Antropossolo 1, em função deste ser gerado a partir de alteração sobre algum solo já com grau de pedogênese avançado. Enquanto que no Antropossolo 2, a descontinuidade química é evidente por ter ocorrido a deposição de materiais alóctones distintos sobre um solo já em desenvolvimento, não ocorrendo a mistura entre os materiais.

Assim como a descontinuidade química é irrelevante quando ocorre a mistura de materiais alóctones com o material do ambiente, não havendo, dessa forma, mudanças abruptas devido à mistura dos materiais em duas ou mais camadas, como no Antropossolo 3. No Antropossolo 4 ocorreu a mistura de materiais somente nas camadas 4.1 e 4.2, havendo pouca diferenciação entre ambos e grande diferenciação destes com o material sobreposto.

E para os elementos em maior destaque, estes foram o SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Destacando os altos valores de Fe_2O_3 nas camadas 1.4, 2.1, 2.2, dos Antropossolos 1 e 2, e em todas camadas do Antropossolo 3. Os altos valores de SiO_2 nas camadas 2.1, 2.2 e 4.3, dos Antropossolos 2 e 4. E para o Al_2O_3 , destacando-se as camadas 2.1, 2.2, 4.1 e 4.2, também para os Antropossolos 2 e 4.

Referências Bibliográficas

- Alves E. E. N., Rocha, P. A., Siebeneichler E. A., Costa L. M., Vergütz L., Schaefer C. E. G. R. 2015a. Determinação da massa por área mínima de amostras de solo e vegetal para análise no μ -EDX. Anais do III Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, Viçosa, 28-30p.
- Alves E. E. N., Costa L. M., Rocha P. A., Bittencourt S. F. E., Faria A. L. L., Schaefer C. E. G. R. 2015b. Utilização do μ -EDX para determinação de elementos químicos marcadores de metamorfismo em saprolitos de contato. Anais do III Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, Viçosa, 31-33p.
- Barbosa I. C. C., Müller R. C. S., Alves C. N., Berrêdo J. F., Souza Filho P. W. M. 2015. Composição Química de Sedimento de Manguezal do Estuário Bragantino (PA) – Brasil. Revista Virtual de Química, 7 (4):1087-1101. Disponível em: <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/viewArticle/758>. Acesso em 20 dezembro 2016.
- Barreto Neto A. A., Marchesi A. F., Lorena R. 2011. Mapeamento espaço-temporal da expansão urbana da Região Metropolitana da Grande Vitória no período de 1991 a 2009, no estado do Espírito Santo. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 714-721p. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1330.pdf>. Acesso em 11 Janeiro 2017.
- Cursio G. R., Lima V. C., Giarola N. F. B. 2004. Antropossolos: Proposta de Ordem (1ª aproximação). Colombo, EMBRAPA Florestas, 49p.
- Dagnino R. S. 2005. Antropossolo: A metamorfose do solo pela ação humana. Instituto de Geociências, UNICAMP. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/ricardosdag/antropossolo-presentation>. Acesso em 10 fevereiro 2017.
- Gomes T. C., Riffel E. S., Pittelkow G. C., Paul C. R. 2012. Caracterização e espacialização dos depósitos tecnogênicos no bairro Camobi: subsídio ao planejamento urbano do município de Santa Maria-RS. Revista Geonorte, Edição Especial, V.2, N.4, 276–288p.
- Google Earth Pro 7.3. 2019. Guarapari, ES. Coordenadas 20°40'26.78"S e 40°29'59.05"W. Elevação 0 m. Data de Visualização 10/06/2019. Data da Imagem: 13/07/2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Cidades. 2017. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=320240>. Acesso em 20 fevereiro 2017.
- Ibraimo M. M., Schaefer C. E. G. R., Ker J. C., Lani, J. L., Rolim-Neto F. C., Albuquerque M. A. E Miranda, V. J. 2004. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na Região dos Lagos (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:695-712.
- Kämpf N., Kern D. C. 2005. O solo como registro da ocupação humana Pré-Histórica na Amazônia. Tópicos em Ciências do Sol, Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, V.4, 277-320p.
- Jenny H. 1941. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. McGraw-Hill, New York, 281p.
- Peloggia A. 1998. O Homem e o Ambiente Geológico – Geologia, Sociedade e Ocupação Urbana no Município de São Paulo. Ed. Xamã, São Paulo, 270p.
- Rocha P. A. 2016. Solos do manguezal da Baía de Guarapari – ES: mineralogia e fósforo como indicador de contaminação por esgoto doméstico. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, 90p.
- Rogerson P. A. 2012. Métodos estatísticos para a geografia: um guia para o estudante. 7 ed. Bookman, Porto Alegre, 348p.
- Santos R. D., Santos H. G., Ker, J. C., Anjos L. H. C., Shimizu, S. H. 2015. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 102p.
- Ter-Stepanian, G. 1988. The Beginning of Technogene. In: Bulletin of International Association of Engineering Geology, Paris, 38:133-142.

Recebido em 06 de junho de 2017

Aceito em 09 de julho de 2019